Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 2, June. July. 2022, p. 264- 276

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۱ ص.۲۷۶-۲۶۴

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir
Full Research Paper

Effect of cinnamic acid on shelf life and quality of button mushroom at postharvest period

Hadis Cheraghi[1], Fardin Ghanbari[2*], Mehdi Saidi[3]

Received: 2021.05.03
Accepted: 2021.06.25

How to cite this article:
Cheraghi, H., Ghanbari, F., Saidi, M. (2022). Effect of cinnamic acid on shelf life and quality of button mushroom at postharvest period. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. *18* (2), 264-276.

Abstract

Introduction: Button mushroom (*Agaricus bisporus* L.*)* is one of the most popular and widely consumed edible mushrooms that is grown all over the world. However, button mushrooms have a short shelf life of about 3 to 4 days after harvest and lose their commercial value within a few days due to browning of the tissue, water loss, aging and microbial attack. Tissue browning is caused by the activity of polyphenol oxidase (PPO) in plastids on phenolic compounds in the vacuoles as a substrate. Therefore, enzymatic browning is intensified by the loss of membrane integrity due to aging and tissue deterioration and as a result of physical connection between the enzyme and the substrate. The use of some techniques such as the chemicals and physical treatments gives promising results in delaying Browning and increasing the shelf life of edible mushrooms. Cinnamic acid (CA) is an organic acid that occurs naturally in plants and has low toxicity and a wide range of biological activities. Cinnamic acid and its derivatives are widely used in food industry. This compound acts as an inhibitor of polyphenol oxidase activity. On the other hand, cinnamic acid in low concentration has been proposed as an activator of the antioxidant system and its positive effects on reducing the effects of environmental stresses in various plants have been proven in several experiments. Therefore, in the present study, the effect of cinnamic acid treatment on reducing the browning of the tissue and maintaining the quality of white button mushrooms in the post-harvest period has been investigated.

Materials and Methods: Treatments included exogenous application of cinnamic acid at four levels (control, 100, 200 and 400 µM trans cinnamic acid) and storage time at five times (0, 4, 8, 12 and 16 days after storage). Cinnamic acid treatment at the mentioned concentrations was applied by top application 24 hours before mushroom harvest. Distilled water was used for control treatment. At the time of picking, infected, very large and small mushrooms were removed and the same mushrooms with a cap diameter of 40 to 45 mm were collected for each experimental treatment. After harvesting, the mushrooms were placed in a polyethylene box covered with cellophane and after weighing, they were transferred to an incubator at 4°C. In the post-harvest period, different traits were measured with a four day interva.

Results and Discussion: The results showed that by increasing storage time, the activity of polyphenol oxidase and peroxidase increased and consequently the browning of the tissue also had an increasing trend. Also, with increasing storage time, weight loss percentage, hydrogen peroxide and malondialdehyde increased and total phenol and total antioxidant capacity were decreased. The use of cinnamic acid treatment in all three concentrations (100, 200 and 400 µM) reduced the activity of peroxidase and polyphenol oxidase activities and reduced tissue browning. The application of cinnamic acid also improved the quality traits of edible mushrooms such as total phenol, total antioxidant capacity and visual quality index. These findings suggest that application of cinnamic acid, especially at a concentration of 400 µM, could have the potential of inhibiting tissue browning and thus maintaining the mushrooms quality at the postharvest period.

Keywords: Antioxidant capacity, Polyphenol oxidase, Tissue browning, Total phenol, Weight loss.

1, 2, and 3. MSc Student, Assistant professor and Associate professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
(*Corresponding Author Email: F.ghanbari@ilam.ac.ir)
DOI: 10.22067/IFSTRJ.2021.70214.1041

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 2, June. July. 2022, p. 264- 276

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۱ ص.۲۷۶-۲۶۴

مقاله علمی-پژوهشی

اثر کاربرد سینامیک اسید بر ماندگاری و کیفیت قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت

حدیث چراغی[1]- فردین قنبری[2*]- مهدی صیدی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۴

چکیده

قهوه‌ای شدن بافت یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کیفیت قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت است که تحت تأثیر آنزیم پلی‌فنل اکسیداز اتفاق می‌افتد. در این تحقیق امکان کاهش قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی و حفظ کیفیت آن با کاربرد خارجی سینامیک اسید، به‌عنوان بازدارنده فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، مورد بررسی قرار گرفت. تیمار سینامیک اسید در چهار سطح (شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار) اعمال شد و پس از آن قارچ‌ها به مدت ۱۶ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز افزایش یافت و به تبع آن قهوه‌ای شدن بافت نیز روند افزایشی داشت. همچنین با افزایش زمان نگهداری درصد کاهش وزن، پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید افزایش یافت و فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل روند کاهشی داشت. استفاده از تیمار سینامیک اسید در هر سه غلظت (۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار) سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز شد و قهوه‌ای شدن بافت را کاهش داد. همچنین کاربرد سینامیک اسید سبب بهبود صفات کیفی قارچ خوراکی مانند فنل کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل و شاخص کیفیت ظاهری شد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سینامیک اسید، خصوصاً در غلظت ۴۰۰ میکرومولار، سبب کاهش قهوه‌ای شدن بافت، حفظ کیفیت و کاهش افت وزن قارچ خوراکی در دوره پس از برداشت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌فنل اکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، قهوه‌ای شدن بافت، کاهش وزن.

مقدمه

قارچ‌های خوراکی منابع ترکیبات غذایی سودمند مانند پلی ساکاریدها (β-گلوکان‌ها)، فیبر غذایی، ترپن‌ها، پپتیدها، گلیکوپروتئین‌ها، عناصر معدنی، اسیدهای چرب اشباع نشده و آنتی اکسیدان‌ها هستند. همچنین وجود ترکیبات خاص باعث می‌شود که قارچ‌ها از نظر درمانی برای بهبود سیستم ایمنی بدن، پیشگیری و کنترل بیماری‌های مختلف مفید باشند (Kalač, 2009).

قارچ *Agaricus bisporus* یکی از معروف‌ترین و پرمصرف‌ترین قارچ‌های خوراکی است که در سراسر دنیا پرورش می‌یابد. با این حال، قارچ‌های دکمه‌ای ماندگاری پس از برداشت کوتاهی، حدود ۳ تا ۴ روز، دارند و به دلیل قهوه‌ای شدن بافت، از دست دادن آب، پیری و حمله میکروب‌ها، ارزش تجاری خود را طی چند روز از دست می‌دهند (Jiang et al., 2011). قهوه‌ای شدن بافت‌ها یکی از اساسی‌ترین عواملی است که بر میزان پذیرش محصولات توسط مصرف‌کنندگان تأثیر می‌گذارد. قهوه‌ای شدن بافت در اثر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) موجود در پلاستیدها بر روی ترکیبات فنلی موجود در واکل‌ها به‌عنوان سوبسترا ایجاد می‌شود (Ding et al., 2016). بنابراین، قهوه‌ای شدن آنزیمی با از بین رفتن یکپارچگی غشا در اثر پیری و زوال بافت‌ها و در نتیجه ارتباط فیزیکی بیشتر آنزیم و سوبسترا تشدید می‌شود (Li-Qin et al., 2009). در واقع حفظ یکپارچگی غشا مانع از خروج ترکیبات فنلی از واکل به سیتوپلاسم شده و اتصال آنزیم PPO به سوبسترا اتفاق نمی‌افتد و در نتیجه پدیده قهوه‌ای شدن به تأخیر می‌افتد (Gao et al., 2014).

گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS)، مانند آنیون سوپراکسید و پراکسید هیدروژن از طریق پراکسیداسیون لیپیدهای غشا منجر به آسیب غشاهای سلولی شده و تنش اکسیداتیو ایجاد می‌کنند (Li et al., 2011). برای مقابله با رادیکال‌های آزاد گیاهان مجهز به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی هستند (Singh et al., 2013). در واقع، شبکه آنتی‌اکسیدانی با کنترل سطح ROS و جلوگیری از تخریب غشاهای سلولی منجر به حفظ فاصله فیزیکی بین آنزیم PPO و سوبسترا شده و قهوه‌ای شدن آنزیمی را کاهش می‌دهد (Chomkitichai et al., 2014). بنابراین تأخیر و یا کاهش قهوه‌ای شدن یک تکنیک مهم برای بهبود ماندگاری و کیفیت قارچ خوراکی در دوره پس از برداشت است (Ding et al., 2016).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: F.ghanbari@ilam.ac.ir)
DOI: 10.22067/IFSTRJ.2021.70214.1041

استفاده از برخی تکنیک‌ها مانند کاربرد مواد شیمیایی و تیمارهای فیزیکی نتایج امیدوار کننده‌ای برای تأخیر در قهوه‌ای شدن و افزایش ماندگاری قارچ‌های خوراکی داشته است. سینامیک اسید یک اسید آلی است که به‌طور طبیعی در گیاهان وجود دارد و دارای سمیت کم و طیف وسیعی از فعالیت‌های بیولوژیکی است (Shi et al., 2005). سینامیک اسید و مشتقات آن به‌طور وسیع در صنایع غذایی استفاده می‌شوند و به‌عنوان بازدارنده فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مطرح بوده و با عمل به‌عنوان آنالوگ سوبسترا مانع فعالیت آنزیم می‌شود (Ortiz-Ruiz et al., 2015). از طرف دیگر سینامیک اسید در غلظت پایین به‌عنوان فعال‌کننده سیستم آنتی‌اکسیدانی مطرح بوده و در چندین آزمایش اثرات مثبت آن بر کاهش آثار تنش‌های محیطی در گیاهان مختلف به اثبات رسیده است (Singh et Li et al., 2011 ; al., 2013). در تحقیقی Shi و همکاران (۲۰۰۵) اثرات سینامیک اسید و مشتقات آن (اسید ۲- هیدروکسی سینامین، اسید ۴- هیدروکسی سینامین و اسید ۴-متوکسی سینامین) را بر فعالیت‌های تیروزیناز قارچ سفید مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که سینامیک اسید و مشتقات آن به شدت فعالیت‌های تیروزیناز قارچ را مهار کردند و از شدت قهوه‌ای شدن جلوگیری کردند و سبب بهبود کیفیت در مراحل پس از برداشت شدند (Shi et al., 2005). در این رابطه گزارش شده است که سینامیک اسید عمدتاً از طریق گروه هیدروکسی سوبسترا با جایگاه فعال آنزیم رقابت می‌کند و در تکثیر سلول اثر سمیت نداشته و درصد قهوه‌ای شدن قارچ را به تأخیر می‌اندازد (Hu et al., 2016). همچنین، تیمار پس از برداشت ۴ متوکسی سینامیک اسید سبب کاهش قهوه‌ای شدن و حفظ کیفی قارچ خوراکی در دوره پس از برداشت شد و فرآیندهای مرتبط با پیری را به تأخیر انداخت (Hu et al., 2015). بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی اثر تیمار قبل از برداشت ترانس سینامیک اسید بر قهوه‌ای شدن بافت و صفات کیفی قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۸ در دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل محلول‌پاشی سینامیک اسید در چهار سطح (شامل شاهد، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار ترانس سینامیک اسید) و زمان انبارمانی در پنج زمان (شامل صفر، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ روز پس از برداشت) بود. تیمار سینامیک اسید در غلظت‌های ذکر شده به صورت محلول‌پاشی، ۲۴ ساعت قبل از برداشت قارچ اعمال شد. برای اعمال تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. در زمان چیدن، قارچ‌های بیمار، آسیب دیده و بسیار بزرگ و کوچک حذف شده و قارچ‌های یکسان با قطر کلاهک ۴۰ تا ۴۵ میلی‌متر برای هر تیمار آزمایشی جمع‌آوری شد. قارچ‌ها پس از برداشت در جعبه پلی‌اتیلنی با پوشش سلوفان قرار گرفته و پس از توزین به انکوباتور با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. در دوره پس از برداشت به فاصله هر چهار روز یکبار صفات مختلف اندازه‌گیری شد.

درصد کاهش وزن

برای اندازه‌گیری درصد کاهش (افت) وزن نمونه‌های قارچ قبل از نگهداری با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. پس از پایان هر دوره اندازه گیری، نمونه‌ها دوباره توزین شده و با استفاده از رابطه ۱ درصد کاهش وزن نسبت به روز شروع آزمایش (روز صفر) محاسبه شد. در این رابطه W_1 وزن نمونه‌ها در شروع آزمایش و W_2 وزن نمونه‌ها در هر مرحله اندازه گیری بود.

$$\text{درصد کاهش وزن} = ((W_1 - W_2) / W_1) \times 100 \quad (۱)$$

شاخص کیفیت ظاهری

کیفیت ظاهری بر اساس رنگ، بافت و درصد کلاهک باز شده بر اساس چهار مقیاس عددی از یک تا چهار تعیین گردید. برای این کار قارچ‌های هر بسته به صورت جداگانه بررسی شد که در آن اعداد یک تا چهار به‌ترتیب برای قارچ‌های ضعیف، نسبتاً خوب، خوب و عالی اختصاص یافت (Jiang et al., 2011).

شاخص قهوه‌ای شدن

برای تعیین شاخص قهوه‌ای شدن، یک گرم پوسته کلاهک با دو میلی‌لیتر متانول ۶۰ درصد به همراه پلی‌وینیل پیرولیدون ساییده شد. پس از رقیق شدن با استفاده از ۸ میلی‌لیتر متانول ۶۰ درصد، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ (Labnet Prism R) شدند. پس از آن جذب محلول بالایی (روشناور) با استفاده از اسپکتروفتومتر (Specord 50, Analytik Jena) در طول موج ۴۵۰ نانومتر قرائت شد و به‌عنوان میزان قهوه‌ای شدن گزارش گردید (Hu et al., 2015).

پراکسید هیدروژن

محتوای پراکسید هیدروژن بر اساس روش Chomkitichai و همکاران (۲۰۱۴) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد (Chomkitichai et al. 2014). برای این کار یک گرم از بافت قارچ در ۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید یک درصد ساییده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ (Labnet Prism R) شدند. به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره

رویی، ۲/۴ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر پتاسیم یدید یک مولار اضافه شد. پس از آن جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت و بر اساس منحنی استاندارد میزان پراکسید هیدروژن محاسبه و گزارش گردید.

مالون دی‌آلدهید

اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدهید بر اساس روش Stewart و Bewley (۱۹۸۰) انجام گرفت. برای این منظور ۰/۲ گرم از بافت کلاهک قارچ با اسید تری‌کلرو استیک ۰/۱ درصد کوبیده شده و پس از آن به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی را برداشته و به آن یک میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد وزنی به حجم (w/v) اسید تیو باربیتیوریک دارای اسید تری‌کلرواستیک ۲۰٪ اضافه شد. نمونه‌ها در حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از سرد شدن جذب آنها در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد.

فنل کل

برای اندازه گیری مقدار فنل کل از روش فولین– سیکالته استفاده شد (Singleton and Rossi, 1965). به این منظور ۰/۲ گرم نمونه قارچ با اضافه کردن سه میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد کوبیده شد و پس از صاف کردن آن با کاغذ صافی، ۳۰۰ میکرولیتر آن برداشته شد و به آن ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین ۱۰ درصد اضافه گردید و به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس به آن ۱۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد اضافه شده و پس از دو ساعت تکان دادن روی شیکر در دمای اتاق، جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Specord 50, Analytik Jena) اندازه‌گیری شد. با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک و نسبت رقیق شدن در نهایت میزان فنل کل بر اساس میلی‌گرم اسید گالیک در کیلو گرم وزن‌تر گزارش شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل ۷۵ میکرولیتر از عصاره نمونه به همراه ۲۹۲۵ میکرو لیتر محلول DPPH مخلوط شد. بلافاصله جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حالت خود رها شده و مجدداً جذب آنها قرائت شد. با استفاده از رابطه ۲ درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها در تیمارهای مختلف محاسبه گردید. که در این رابطه A_{t0} جذب محلول در زمان صفر و A_{t30}، جذب محلول در زمان ۳۰ دقیقه بود (Bondet et al., 1997).

$$\text{فعالیت آنتی‌اکسیدانی} = [A_{t0} - A_{t30}/ A_{t0}]\times 100 \quad (۲)$$

فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها، ۰/۲ گرم بافت قارچ با استفاده از ۲ میلی‌لیتر بافرفسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار حاوی یک میلی‌مولار EDTA بر روی یخ ساییده شد. پس از سانتریفوژ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه، مایع رویی جمع شده و به‌عنوان عصاره خام آنزیم برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش Plewa و همکاران (۱۹۹۱) انجام شد. مخلوط واکنش شامل ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم، ۱۰۰ میکرولیتر پر اکسید هیدروژن و ۱۰۰ میکرولیتر گوایکول بود. جذب نمونه به مدت ۲ دقیقه در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد و فعالیت آنزیم بر اساس واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین گزارش شد. همچنین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز بر اساس روش Kar و Mishra (۱۹۷۶) با استفاده از پیروگالول به‌عنوان سوبسترا اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹،۱) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

درصد کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی زمان و سینامیک اسید در سطح آماری یک درصد بر کاهش وزن معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل زمان× سینامیک اسید در سطح یک درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که با افزایش زمان نگهداری درصد کاهش وزن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین کاهش وزن (۲/۸۵ تا ۴/۲۵ درصد) در ۱۶ روز پس از نگهداری به‌دست آمد. کاربرد سینامیک اسید در هر سه غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار درصد کاهش وزن را نسبت به شاهد کاهش داد. بیشترین تأثیر سینامیک اسید در زمان ۱۶ روز نگهداری مشاهده شد که تیمار ۴۰۰ میکرو مولار آن درصد کاهش وزن را نسبت به شاهد ۳۳ درصد کاهش داد (شکل ۱).

شاخص کیفیت ظاهری

اثر زمان و سینامیک اسید در سطح آماری یک درصد بر شاخص کیفیت ظاهری معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل زمان× سینامیک

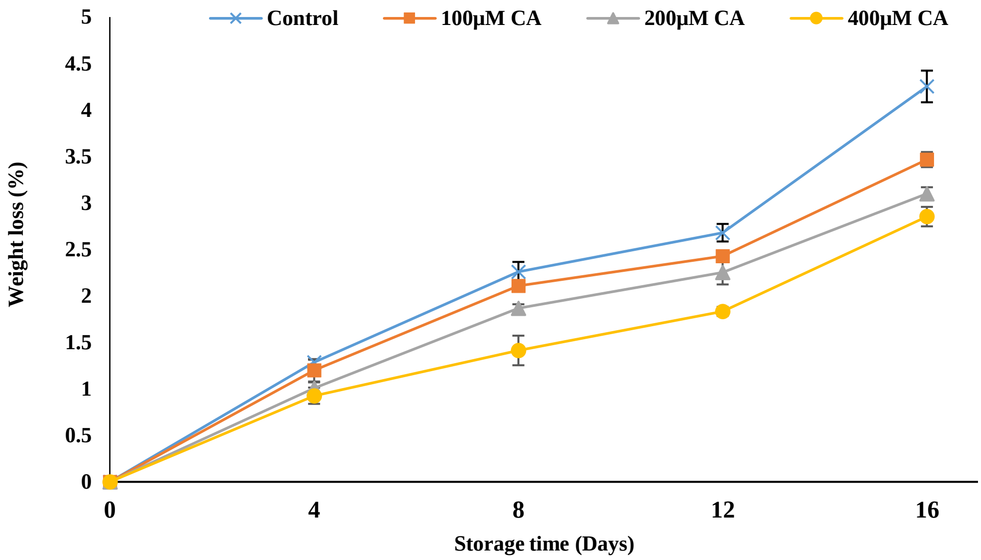
اسید در سطح ۵ درصد آماری بر شاخص کیفیت ظاهری معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی قارچ دکمه‌ای تحت تأثیر سینامیک اسید و زمان نگهداری
Table 1- ANOVA for evaluated traits of button mushroom subjected to cinnamic acid and storage time

منبع تغییرات S.O.V	df	کاهش وزن Weight loss	کیفیت ظاهری Visual quality	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index	پر اکسید هیدروژن Hydrogen peroxide	مالون دی آلدهید Malon-dialdehyde	فنل کل Total Phenol	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity	فعالیت پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase activity
زمان Time	4	19.76**	11.09**	0.272**	320.07**	25.22**	358236**	775.64**	250.69**	2611.16**
سینامیک اسید Cinnamic acid	3	1.28**	0.34**	0.019**	15.02**	1.18**	15290**	109.54**	11.98**	249.17**
زمان*سینامیک اسید Time× Cinnamic acid	12	0.17**	0.08*	0.004**	1.72**	0.26**	3093**	15.47ns	2.06**	34.64**
خطا Erorr	40	0.02	0.03	0.001	0.66	0.08	694	12.65	0.55	13.14
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.59	6.32	6.34	4.68	11.23	3.24	5.56	6.15	14.78

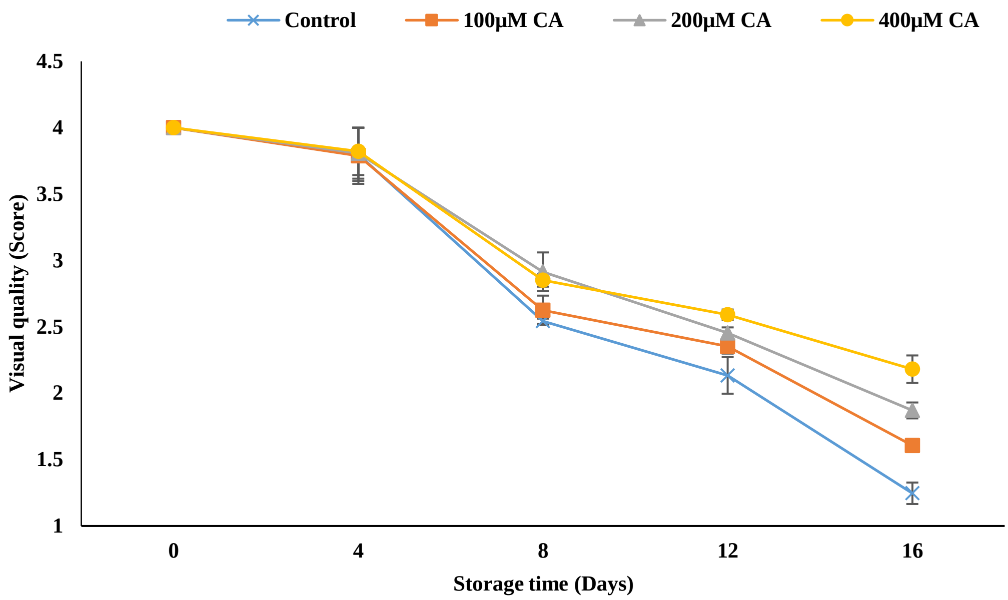
**معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns: عدم معنی‌داری.

** and * indicate significant at the 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively, and ns indicates non- significant.



شکل ۱- اثر سینامیک اسید (CA) بر درصد کاهش وزن قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.
میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.
Fig. 1. Effect of cinnamic acid (CA) on the weight loss of button mushrooms at different storage times.
The vertical bars represent the standard deviation of three replications.

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که با افزایش زمان نگهداری تا ۴ روز کیفیت ظاهری قارچ دکمه‌ای افت شدید نداشت ولی پس از آن کیفیت ظاهری قارچ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به کمترین مقدار خود در روز ۱۶ام رسید. تیمار سینامیک اسید در روزهای ۸، ۱۲ و ۱۶ تأثیر معنی‌داری بر کیفیت ظاهری قارچ در دوره پس از برداشت گذاشت. هر سه غلظت سینامیک اسید تأثیر معنی داری بر حفظ کیفیت قارچ در دوره پس از برداشت داشتند ولی تیمار ۴۰۰ میکرو مولار مؤثرتر از تیمارهای دیگر بود (شکل ۲).

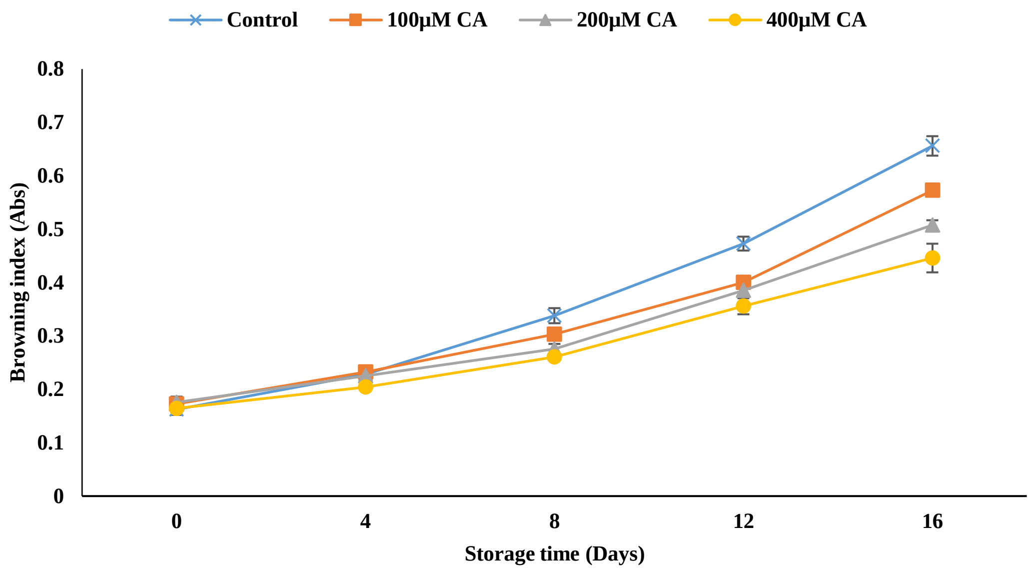


شکل ۲- اثر سینامیک اسید (CA) بر شاخص کیفیت ظاهری قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.

میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.

Fig. 2. Effect of cinnamic acid (CA) on the visual quality of button mushrooms at different storage times.

The vertical bars represent the standard deviation of three replications.



شکل ۳- اثر سینامیک اسید (CA) بر شاخص قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.

میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.

Fig. 3. Effect of cinnamic acid (CA) on the browning index of button mushrooms at different storage times.

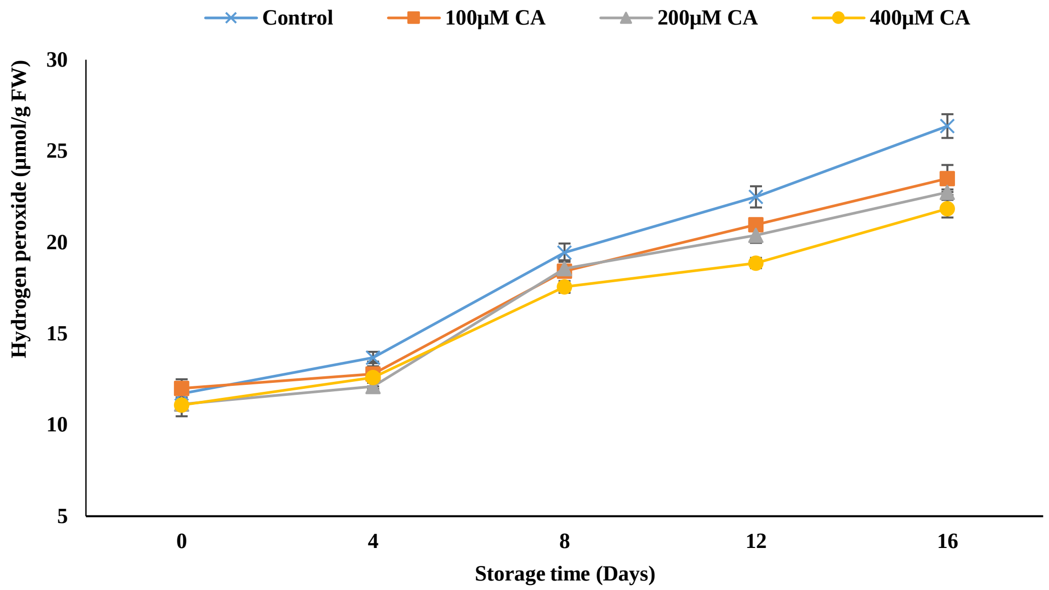
The vertical bars represent the standard deviation of three replications.

شاخص قهوه‌ای شدن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی زمان و سینامیک اسید و همچنین اثر متقابل زمان× سینامیک اسید در سطح آماری یک درصد بر شاخص قهوه‌ای شدن معنی دار شد (جدول ۱). با افزایش زمان نگهداری شاخص قهوه‌ای شدن بافت قارچ به‌صورت خطی افزایش یافت. از طرف دیگر تیمارهای سینامیک اسید قهوه‌ای شدن بافت را نسبت به شاهد کاهش دادند. تیمار ۴۰۰ میکرومولار سینامیک اسید موثرترین تیمار در کاهش شاخص قهوه‌ای شدن بود و در زمان‌های ۸، ۱۲ و ۱۶ روز شاخص قهوه‌ای شدن را به‌ترتیب ۲۳، ۲۵ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۳).

پراکسید هیدروژن

نتایج نشان داد که محتوای پراکسید هیدروژن تحت تأثیر زمان، سینامیک اسید و اثر متقابل این تیمارها معنی‌دار شد (جدول ۱). با افزایش زمان نگهداری قارچ دکمه‌ای محتوای پراکسید هیدروژن روند افزایشی داشت به‌طوری که بیشترین میزان آن در روز ۱۶ام و کمترین آن در روز اول آزمایش مشاهده شد. در تمام زمان‌های آزمایش، غیر از زمان صفر، تیمارهای سینامیک اسید محتوای پراکسید هیدروژن را نسبت به شاهد به طور معنی داری کاهش دادند. هر سه تیمار سینامیک اسید (۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرو مولار) تأثیر معنی‌داری در کاهش پراکسید هیدروژن نسبت به شاهد داشتند و با افزایش زمان نگهداری اثر بخشی تیمارها بیشتر شد (شکل ۴).



شکل ٤- اثر سینامیک اسید (CA) بر پراکسید هیدروژن قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.

میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.

Fig. 4. Effect of cinnamic acid (CA) on the hydrogen peroxide of button mushrooms at different storage times.
The vertical bars represent the standard deviation of three replications.

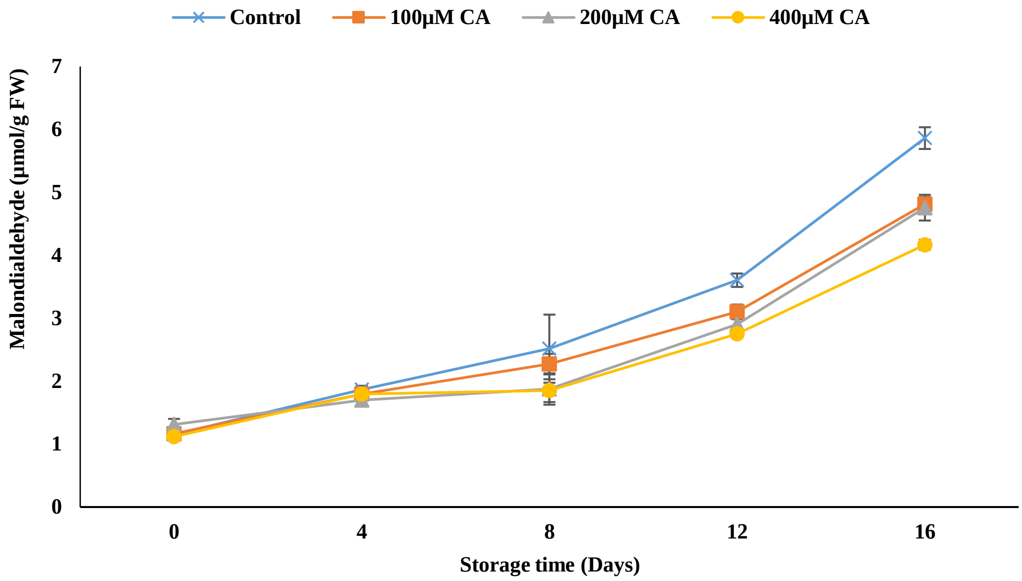
مالون دی‌آلدهید

نتایج حاصل از تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی زمان و سینامیک اسید و اثر متقابل این دو تیمار در سطح یک درصد بر محتوای مالون دی آلدهید معنی دار شد (جدول ۱). تا روز ۸ام آزمایش محتوای مالون دی‌آلدهید با شدت کم روند افزایشی داشت ولی پس از آن، به خصوص در روز ۱۶ام، با شدت بیشتر روند افزایشی گرفت. در زمان‌های صفر، ۴ و ۸ روز استفاده از سینامیک اسید تأثیر معنی‌داری بر مالون دی‌آلدهید نسبت به شاهد نداشت ولی در روزهای ۱۲ و ۱۶ کاربرد سینامیک اسید در هر سه غلظت محتوای مالون دی آلدهید را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۵).

فنل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی زمان و تیمار در سطح یک درصد بر محتوای فنل کل معنی دار شد. همچنین اثر متقابل زمان× سینامیک اسید در سطح یک درصد بر فنل کل معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که تا روز ۴ام آزمایش محتوای فنل کل روند افزایشی داشت و پس از آن به‌طور معنی داری کاهش یافت و به کمترین میزان خود در روز ۱۶ام رسید. از طرف دیگر، تیمارهای سینامیک اسید در روزهای صفر و ۴ تأثیر معنی‌داری بر فنل کل نسبت به شاهد نداشتند، ولی هر سه تیمار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرو مولار سینامیک اسید در روزهای ۸، ۱۲ و

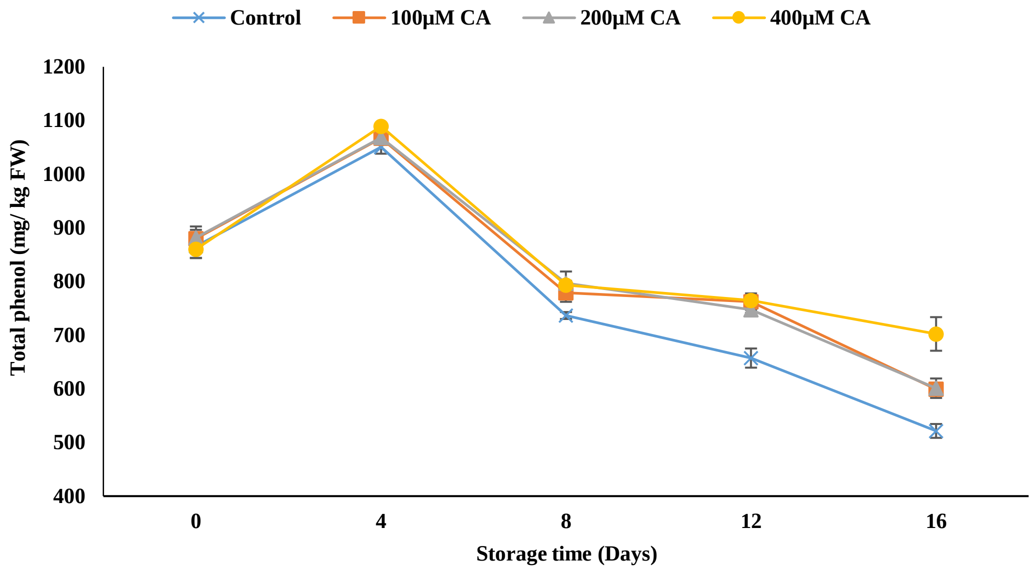
۱۶ روز، محتوای فنل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند. در روز ۱۶ام آزمایش تیمارهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار سینامیک اسید به‌ترتیب ۱۴، ۱۵ و ۳۴ درصد فنل کل را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۶).



شکل ۵- اثر سینامیک اسید (CA) بر محتوای مالون دی آلدهید قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.

میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.

Fig. 5. Effect of cinnamic acid (CA) on the malondialdehyde content of button mushrooms at different storage times.
The vertical bars represent the standard deviation of three replications.



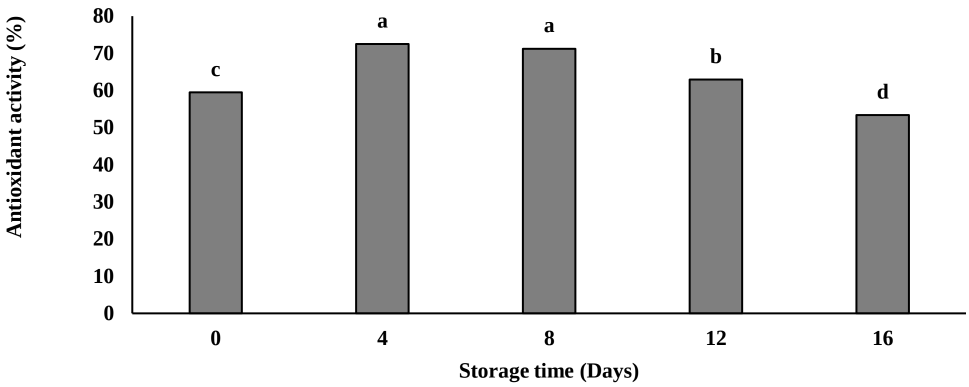
شکل ٦- اثر سینامیک اسید (CA) بر محتوای فنل کل قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.

میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.

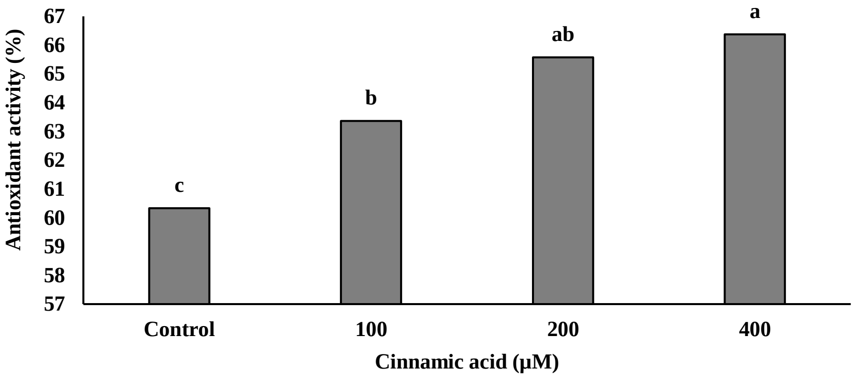
Fig. 6. Effect of cinnamic acid (CA) on the total phenol content of button mushrooms at different storage times.
The vertical bars represent the standard deviation of three replications.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

نتایج نشان داد که تنها اثرات اصلی زمان و سینامیک اسید در سطح یک درصد بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل معنی‌دار شد و اثر متقابل زمان× سینامیک اسید بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثرات اصلی زمان نشان داد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قارچ دکمه‌ای تا روز ۸ام آزمایش روند افزایشی داشت و پس از آن تا روز ۱۶ام به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۷). همه تیمارهای سینامیک اسید ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را نسبت به شاهد افزایش دادند و بیشترین تأثیر در تیمار سینامیک اسید ۴۰۰ میکرومولار مشاهده شد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را نسبت به شاهد ۱۱ درصد افزایش داد (شکل ۸).



شکل ۷- اثر زمان‌های مختلف نگهداری بر فعالیت آنتی اکسیدانی قارچ دکمه‌ای
Fig. 7. Effect of different storage times on the antioxidant activity of button mushrooms



شکل ۸- اثر سینامیک اسید بر فعالیت آنتی اکسیدانی قارچ دکمه‌ای
Fig. 8 Effect of cinnamic acid on the antioxidant activity of button mushrooms

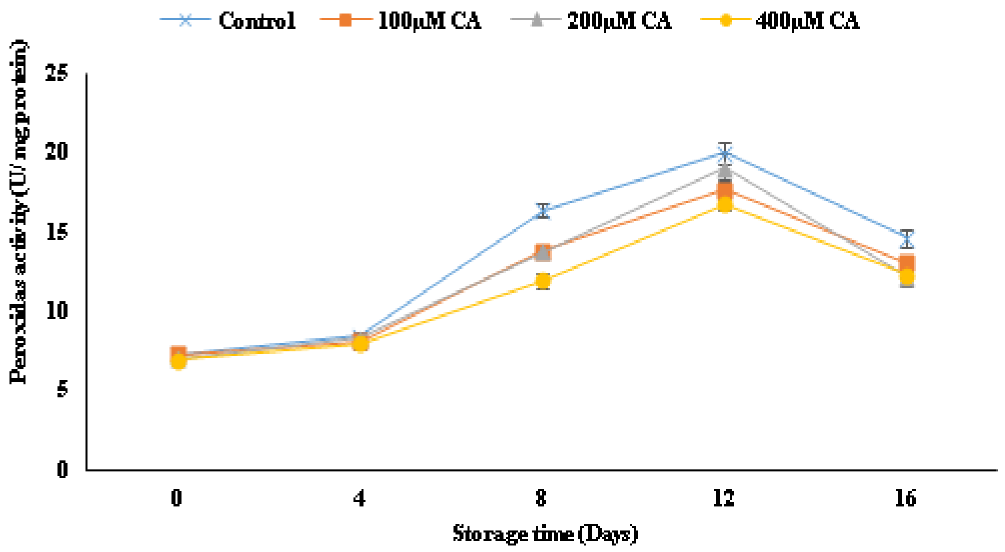
فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر تیمارهای زمان، سینامیک اسید و اثر متقابل آنها معنی‌دار شد (جدول ۱). در زمان‌های مختلف نگهداری فعالیت آنزیم پراکسیداز روند مشخصی نداشت به‌طوری که در روزهای صفر و ۴ام اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد ولی پس از آن تا روز ۱۲ام افزایش و مجدداً روند کاهشی داشت. استفاده از تیمارهای سینامیک اسید در روزهای ۸، ۱۲ و ۱۶ فعالیت آنزیم پراکسیداز را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. هر سه غلظت سینامیک اسید (۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار) در کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز مؤثر بودند و بیشترین تأثیر آنها در روز ۸ام مشاهده شد (شکل ۹).

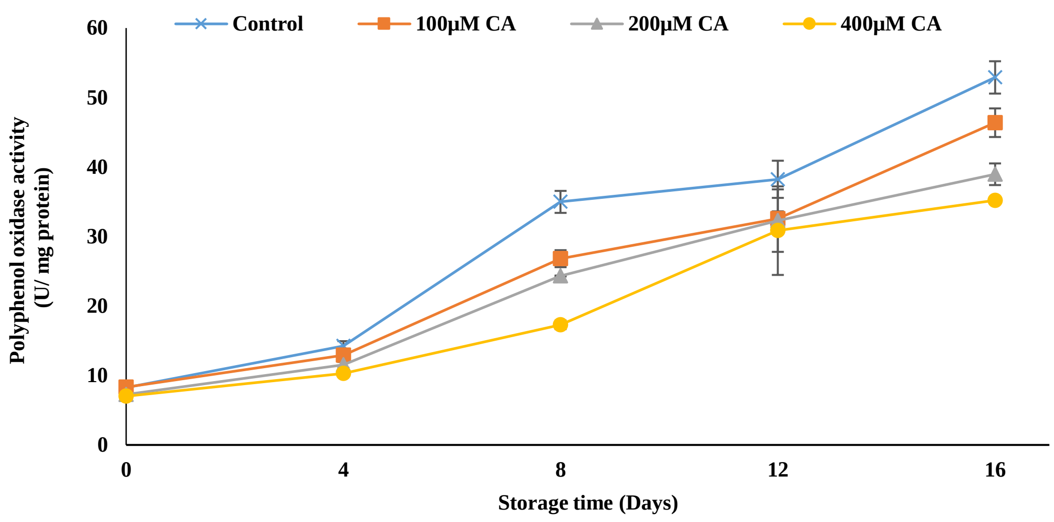
فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی زمان و سینامیک اسید بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل زمان× سینامیک اسید بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل

اکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش زمان نگهداری فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز روند افزایشی داشت و این روند در سطوح مختلف سینامیک اسید متفاوت بود. در زمان‌های مختلف آزمایش، به غیر از زمان‌های صفر و ۴ام، همه تیمارهای سینامیک اسید فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را نسبت به شاهد کاهش دادند. غلظت ۴۰۰ میکرومولار سینامیک اسید موثرترین تیمار در کاهش فعالیت این آنزیم بود و در زمان‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ به‌ترتیب ۲۸، ۵۰، ۱۹ و ۳۳ درصد فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۱۰).



شکل ۹- اثر سینامیک اسید (CA) بر فعالیت آنزیم پراکسیداز قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.
میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.
Fig. 9. Effect of cinnamic acid (CA) on peroxidase enzyme activity of button mushrooms at different storage times.
The vertical bars represent the standard deviation of three replications.



شکل ۱۰- اثر سینامیک اسید (CA) بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز قارچ دکمه‌ای در زمان‌های مختلف نگهداری.
میله‌های عمودی نشان‌دهنده انحراف استاندارد سه تکرار هستند.
Fig. 10. Effect of cinnamic acid (CA) on the polyphenol oxidase enzyme activity of button mushrooms at different storage times.
The vertical bars represent the standard deviation of three replications.

قارچ دکمه‌ای به دلایل قهوه‌ای شدن، پیری بافت، تنفس زیاد، از دست دادن رطوبت و حمله میکروب‌ها عمر پس از برداشت بسیار کوتاهی (کمتر از سه روز در دمای اتاق) دارد (Jiang et al., 2011). نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش زمان نگهداری، درصد کاهش وزن در قارچ دکمه‌ای به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. درصد کاهش وزن پارامتر کیفی بسیار مهمی است زیرا منجر به ضرر اقتصادی می‌شود (Jiang, 2013). دلیل کاهش وزن قارچ در دوره پس از برداشت از دست دادن آب می‌باشد زیرا قارچ‌ها دارای ساختار اپیدرمی بسیار نازک بوده که توانایی ممانعت از دفع سریع آب از بافت قارچ را ندارد (Jiang et al., 2011). بدیهی است که با کاهش رطوبت قارچ، کیفیت ظاهری آن نیز کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای Hu و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که کاربرد ترانس سینامیک اسید سبب کاهش درصد افت وزن در قارچ دکمه‌ای شد، که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Hu et al., 2015). اثر سینامیک اسید در کاهش افت وزن قارچ در دوره پس از برداشت، احتمالاً به دلیل کاهش تنفس و کنترل واکنش‌های اکسیداسیون می‌باشد. از طرف دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از تیمار سینامیک اسید سبب کاهش پراکسید هیدروژن و همچنین کاهش تجمع مالون دی آلدهید شد. در این راستا گزارش شده است که استفاده از برازینولید در قارچ دکمه‌ای با حفظ یکپارچگی غشا سبب کاهش از دست دهی آب شد و کیفیت ظاهری آن را در دوره پس از برداشت حفظ کرد (Ding et al., 2016). پس بنابراین می‌توان گفت دلیل کاهش افت وزن در تیمار سینامیک اسید احتمالاً به دلیل حفظ یکپارچگی غشا باشد که می‌تواند روند اتلاف آب را کند کند.

یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر کیفیت قارچ دکمه‌ای قهوه‌ای شدن بافت است (Ding et al., 2016Jiang, 2013 ;). قهوه‌ای شدن بافت به دلیل اکسیداسیون ترکیبات فنلی توسط آنزیم‌های پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز و در نتیجه تشکیل مواد قهوه‌ای رنگ ایجاد می‌شود. در واقع آنزیم‌های پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز اثر هم‌افزایی بر تشکیل پلیمرهای قهوه‌ای دارند (Gao et al., 2014). تأخیر یا کاهش قهوه‌ای شدن می‌تواند وسیله مهمی برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت قارچ دکمه سفید باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از تیمار سینامیک اسید سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز در قارچ دکمه‌ای شد. به‌طور مشابه با این نتایج، Hu و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تیمار متوکسی سینامیک اسید تأثیر معنی‌داری در کاهش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز در قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت دارد و قهوه‌ای شدن آنزیمی این محصول را کنترل می‌کند (Hu et al., 2015). در این راستا گزارش‌هایی از تأثیر مثبت تیمارهای شیمیایی برای کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و در نتیجه حفظ کیفیت محصولات در دوره پس از برداشت موجود است. به‌عنوان مثال Gao و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که استفاده از برخی ترکیبات گیاهی مانند سینامالدئید فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز را مهار کرده و با کاهش قهوه‌ای شدن بافت و تأخیر پیری، ماندگاری قارچ دکمه‌ای را افزایش می‌دهد (Gao et al., 2014). همچنین، Jiang در سال ۲۰۱۳ نشان داد که پوشش آلژینات می‌تواند فعالیت پلی‌فنل اکسیداز در قارچ دکمه‌ای سفید را در طول ذخیره سازی مهار کند و عمر پس از برداشت قارچ را تا ۱۶ روز در ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد (Jiang, 2013).

قهوه‌ای شدن آنزیمی با از بین رفتن یکپارچگی غشا در طی فرسایش بافت و پیری همراه است (Li-Qin et al., 2009). گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS)، مانند آنیون سوپراکسید و پراکسید هیدروژن، نقشی اساسی در افزایش پراکسیداسیون لیپید و ایجاد آسیب اکسیداتیو غشا دارند (Singh et al., 2013). در واقع یکپارچگی غشا با پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه تجمع مالون دی آلدهید رابطه منفی دارد (Morales and Munné-Bosch, 2019). نتایج تحقیق حاضر این مطلب را تأیید کرد به‌طوری که با افزایش زمان نگهداری قارچ در دوره پس از برداشت میزان پراکسید هیدروژن افزایش یافته و به موازات آن تجمع مالون دی‌آلدهید نیز روند مشابهی داشت. افزایش پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Yan et al., Ding et al., 2016 ; 2020). سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی توانایی محافظت از گیاه در برابر اثرات سمی ROS را دارند. در این رابطه گزارش شده است که تیمار سینامیک اسید سبب افزایش سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاهان مختلف می‌شود و از این طریق تحمل آنها را در برابر تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (Li et al., 2011Singh et al., 2013 ;). در قارچ خوراکی نیز، تیمار متوکسی سینامیک اسید سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون شده و با کاهش تجمع آنیون سوپراکسید و مالون دی‌آلدهید فرآیندهای مرتبط با پیری را به تأخیر انداخت (Hu et al., 2015). نتایج این تحقیق نشان داد که قارچ‌های تیمار شده با سینامیک اسید میزان پراکسید هیدروژن کمتر و تجمع مالون دی‌آلدهید پایین‌تری نسبت به قارچ‌های شاهد داشتند. این نتایج ممکن است به دلیل اثر سینامیک اسید در فعال کردن سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد (Singh et al., 2013). در تحقیق حاضر نیز تیمار سینامیک اسید ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را نسبت به شاهد افزایش داد. کاهش آسیب اکسیداتیو به ساختار غشا، محفظه آنزیم‌ها (پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز) و سوبسترا (ترکیبات فنلی) را

حفظ می‌کند و در نتیجه قهوه‌ای شدن آنزیمی را نیز کاهش می‌دهد (Chomkitichai et al. 2014).

ترکیبات فنلی به‌عنوان اصلی‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی قارچ گزارش شده‌اند (Kalač, 2009). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی تأثیرات مفیدی در حفظ سلامتی و پیشگیری از سرطان و بیماری‌های قلبی عروقی دارند (Serafini, 2006). در تحقیق حاضر افزایش زمان نگهداری قارچ خوراکی منجر به کاهش فنل کل شده و به موازات آن ظرفیت آنتی اکسیدانی کل نیز کاهش یافت. به طور مشابه، Jiang و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که با افزایش زمان نگهداری قارچ دکمه‌ای فنل کل به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به کمترین میزان خود در روز ۱۶ام نگهداری رسید (Jiang et al., 2011). به‌نظر می‌رسد که سطح کمتری از قهوه‌ای شدن بافت با محتوای ترکیبات فنلی رابطه مثبتی دارد و عامل محدودکننده روند تغییر رنگ قارچ در دوره پس از برداشت باشد (Gao et al., 2014). از طرف دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سینامیک اسید سبب افزایش ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت شد. حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌تواند تجمع رادیکال‌های آزاد داخل سلولی را کاهش داده و پیری محصول را به تأخیر بیندازد (Gao et al., 2016). در واقع پیش تیمار سینامیک اسید، صفات کیفی قارچ را در دوره نگهداری حفظ کرد. سینامیک اسید یک متابولیت ثانویه در مسیر فنیل پروپانوئید است و سایر ترکیبات فنلی در این مسیر از آن مشتق می‌شوند (Sharma et al., 2019). در بسیاری از گیاهان کاربرد سینامیک اسید سبب افزایش ترکیبات فنلی و خواص آنتی اکسیدانی شده است (Li et al., 2011Ye et al., 2006 ;). در قارچ خوراکی نیز پیش تیمار متوکسی سینامیک اسید ترکیبات آنتی اکسیدانی این محصول را نسبت به شاهد افزایش داد (Hu et al., 2015). این نتایج نشان می‌دهد که صفات کیفی قارچ خوراکی در دوره پس از برداشت با تیمار سینامیک اسید بهتر حفظ می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از تیمار سینامیک اسید باعث کاهش افت وزن، شاخص قهوه‌ای شدن، پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدهید و فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت شد و از این طریق کیفیت ظاهری و برخی صفات کیفی قارچ دکمه‌ای مانند ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را بهبود داد. بنابراین استفاده از تیمار سینامیک اسید برای حفظ صفات کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت توصیه می‌شود.

منابع

1. Bondet, V., Brand-Williams, W., & Berset, C. L. W. T. (1997). Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH. Free radical method. *LWT-Food Science and Technology*, *30*(6), 609-615. https://doi.org/10.1006/fstl.1997.0240
2. Chomkitichai, W., Chumyam, A., Rachtanapun, P., Uthaibutra, J., & Saengnil, K. (2014). Reduction of reactive oxygen species production and membrane damage during storage of ‘Daw’longan fruit by chlorine dioxide. *Scientia Horticulturae*, *170*, 143-149. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.036
3. Ding, Y., Zhu, Z., Zhao, J., Nie, Y., Zhang, Y., Sheng, J., & Tang, X. (2016). Effects of postharvest brassinolide treatment on the metabolism of white button mushroom (*Agaricus bisporus*) in relation to development of browning during storage. *Food and Bioprocess Technology*, *9*(8), 1327-1334. https://doi.org/10.1007/s11947-016-1722-1
4. Gao, H., Zhang, Z. K., Chai, H. K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D. N., & Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *118*, 103-110. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.006
5. Gao, M., Feng, L., & Jiang, T. (2014). Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food chemistry*, *149*, 107-113. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.073
6. Hu, Y. H., Chen, C. M., Xu, L., Cui, Y., Yu, X. Y., Gao, H. J., ... & Chen, Q. X. (2015). Postharvest application of 4-methoxy cinnamic acid for extending the shelf life of mushroom (Ag*aricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*, *104*, 33-41. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.007
7. Hu, Y. H., Chen, Q. X., Cui, Y., Gao, H. J., Xu, L., Yu, X. Y., & Wang, Q. (2016). 4-Hydroxy cinnamic acid as mushroom preservation: anti-tyrosinase activity kinetics and application. International Journal of Biological Macromolecules, 86, 489-495. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.070
8. Jiang, T. (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. *Postharvest biology and technology*, *76*, 91-97. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.005

9. Jiang, T., Zheng, X., Li, J., Jing, G., Cai, L., & Ying, T. (2011). Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Chemistry*, *126*(4), 1693-1699. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.060
10. Kalač, P. (2009). Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food chemistry*, *113*(1), 9-16. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.077
11. Kar, M., and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant physiology, 57(2): 315-319. https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315
12. Li, Q., Yu, B., Gao, Y., Dai, A. H., & Bai, J. G. (2011). Cinnamic acid pretreatment mitigates chilling stress of cucumber leaves through altering antioxidant enzyme activity. *Journal of plant physiology*, *168*(9), 927-934. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.025
13. Li-Qin, Z., Jie, Z., Shu-Hua, Z., & Lai-Hui, G. (2009). Inhibition of browning on the surface of peach slices by short-term exposure to nitric oxide and ascorbic acid. *Food Chemistry*, *114*(1), 174-179. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.036
14. Mishra, K., Ojha, H., & Chaudhury, N. K. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food chemistry*, *130*(4), 1036-1043. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.127
15. Morales, M., & Munné-Bosch, S. (2019). Malondialdehyde: Facts and artifacts. *Plant physiology*, *180*(3), 1246-1250. https://doi.org/10.1104/pp.19.00405
16. Ortiz-Ruiz, C. V., Maria-Solano, M. A., Garcia-Molina, M. D. M., Varon, R., Tudela, J., Tomas, V., & Garcia-Canovas, F. (2015). Kinetic characterization of substrate-analogous inhibitors of tyrosinase. *IUBMB life*, *67*(10), 757-767. **https://doi.org/10.1002/iub.1432**
17. Plewa, M. J., Smith, S. R., and Wagner, E. D. 1991. Diethyldithio carbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. Mutation research/fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis, 247(1): 57-64. https://doi.org/10.1016/0027-5107(91)90033-K
18. Serafini, M. (2006). The role of antioxidants in disease prevention. *Medicine*, *34*(12), 533-535. https://doi.org/10.1053/j.mpmed.2006.09.007
19. Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, *24*(13), 2452. **https://doi.org/10.3390/molecules24132452**
20. Shi, Y., Chen, Q. X., Wang, Q., Song, K. K., & Qiu, L. (2005). Inhibitory effects of cinnamic acid and its derivatives on the diphenolase activity of mushroom (*Agaricus bisporus*) tyrosinase. Food Chemistry, 92(4), 707-712. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.031
21. Singh, P. K., Singh, R., & Singh, S. (2013). Cinnamic acid induced changes in reactive oxygen species scavenging enzymes and protein profile in maize (*Zea mays* L.) plants grown under salt stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *19*(1), 53-59. https://doi.org/10.1007/s12298-012-0126-6
22. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144-158.
23. Stewart, R. R., & Bewley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant physiology*, *65*(2), 245-248. https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245
24. Yan, J., Ban, Z., Luo, Z., Yu, L., Wu, Q., Li, D., Zahedi, S, M., & Li, L. (2021). Variation in cell membrane integrity and enzyme activity of the button mushroom (*Agaricus bisporus*) during storage and transportation. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(5), 1655-1662. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04674-1
25. Ye, S. F., Zhou, Y. H., Sun, Y., Zou, L. Y., & Yu, J. Q. (2006). Cinnamic acid causes oxidative stress in cucumber roots, and promotes incidence of *Fusarium* wilt. *Environmental and Experimental Botany*, *56*(3), 255-262. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.010